

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO COQUE METALÚRGICO PRODUZIDO COM DIFERENTES MISTURAS DE CARVÃO MINERAL E SERRAGEM*

Lays Augusta Leal Carvalho¹
Alex Milton Albergaria Campos²
Paulo Santos Assis³

Resumo

A presente pesquisa dedica-se a analisar a adição de biomassa de serragem, que é uma matéria-prima carbonosa que pode ser utilizada nas misturas de carvão para produção do coque metalúrgico, preservando a qualidade exigida, com menor custo. A qualidade do coque metalúrgico pode ser determinada por meio da efetividade das suas funções químicas, físicas e térmicas no interior do alto-forno. Para produção de ferro gusa, qualquer modificação nos constituintes das matérias-primas pode ter influência direta na produtividade do alto-forno e na qualidade final do aço. A partir das análises de degradação térmica como reatividade do coque (CRI) e resistência do coque após reação (CSR), resistência a frio (DI) e análises imediatas, pode-se definir a qualidade do coque metalúrgico produzido com serragem. Assim sendo, o objetivo é relacionar estes parâmetros com as particularidades do material e suas funções no alto-forno. Os resultados mostram que tecnicamente é viável a utilização de até 2% de serragem de eucalipto na mistura de carvões.

Palavras-chave: Caracterização do coque; Coqueificação; Biomassa; Serragem.

QUALITY EVALUATION OF METALLURGICAL COKE PRODUCED WITH SAWDUST AND DIFFERENT MIXTURES OF COAL

Abstract

The present research is dedicated to analyzing the addition of sawdust biomass, which is a carbonaceous raw material that can be used in coal blends for the production of metallurgical coke, preserving the required quality, with lower cost. The quality of metallurgical coke can be determined by the efficiency of its chemical, physical and thermal functions inside the blast furnace. For the production of hot metal, any modification in the constituents of the raw materials can have a direct influence on the blast furnace productivity and in the final quality of steel. From the thermal degradation analyzes such as coke reactivity index (CRI) and coke strength reaction (CSR), cold resistance (DI) and immediate analyzes, it can be define the quality of metallurgical coke produced with biomass aiming to relate the parameters that interfere in the particularities of the material in its categories not blast furnace. Some results shows that is possible to use 2% of eucalyptus sawdust in the coal mixture.

Keywords: Characterization of coke; Cokemaking; Biomass; Sawdust.

¹ *Graduada em Engenharia Metalúrgica-UFOP. Aluno de mestrado em Engenharia de Materiais-REDEMAT/UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.*

² *Graduado em Engenharia Metalúrgica-UFOP. Aluno de doutorado em Engenharia de Materiais-REDEMAT/UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.*

³ *Professor Doutor Titular na REDEMAT e UFOP - Escola de Minas. Pesquisador CNPq. Conselheiro da ABM e EcoEnviroX, Ouro Preto, MG, Brasi.*

1 INTRODUÇÃO

Devido à intensa competitividade no mercado siderúrgico, o avanço dos processos de produção, a redução de custos e a minimização dos impactos ambientais são requisitos fundamentais na atualidade. Estes fatores destacam-se por serem primordiais no setor de pesquisa siderúrgica (SOUZA, 2016).

Tendo uma crescente imposição para redução das emissões de CO₂ pelas potências industriais e sendo o processo e utilização de coque metalúrgico um dos maiores geradores de dióxido de carbono, por se tratar de um produto derivado de combustíveis fósseis, a utilização de materiais alternativos neste processo vem sendo analisada em várias vertentes (SILVA, 2016).

O custo de produção do coque representa aproximadamente 40% dos custos de produção do aço, e é essencial para o processo de produção do gusa no alto-forno (Osório *et al.*, 2008).

Em comparação com os resíduos plásticos e afins, a biomassa é uma fonte de perspectiva para substituir os combustíveis fósseis no futuro, pois é abundante, renovável, limpa e neutra em carbono (Quan *et al.*, 2016).

Dessa forma, a inserção de biomassa de serragem como uma nova matéria-prima carbonosa utilizada nas misturas de carvão para a produção de coque metalúrgico, desde que preserve a qualidade requisitada para sua aplicação no alto-forno, principalmente com relação ao CSR, CRI e DI, e o menor custo produtivo é uma possibilidade viável para o mercado siderúrgico. Devido ao baixo custo desta matéria-prima, sua abundância e seu alto teor de carbono são fatores significativos que colaboram com a produtividade e com o bom funcionamento do alto-forno.

A qualidade do coque pode ser determinada por meio do seu desempenho no alto-forno, sendo definida a partir da análise de seu desempenho e dos fatores que influem sobre ele no decorrer do processo no reator (SOUZA, 2016).

Neste sentido este trabalho buscou avaliar a influência da adição de biomassa de madeira e serragem na produção de coque metalúrgico.

2 DESENVOLVIMENTO

Os experimentos para caracterização do coque metalúrgico produzido com misturas de carvão mineral e serragem foram realizados da seguinte forma:

- Amostragem das matérias-primas para formulação das misturas para produção de coque metalúrgico em escala piloto;
- Caracterização física e química do carvão mineral e dos aditivos, serragem e madeira, utilizados nas misturas;
- Produção de coque metalúrgico em forno piloto;
- Análises imediatas de coque metalúrgico produzido com diferentes misturas e aditivo;
- Análise de reatividade e degradação pós-reação ao CO₂ (CRI e CSR).

Para realização dos enforamentos foi utilizado o forno piloto da Gerdau Ouro Branco, fabricado por *Carbolite Furnace* em conjunto com a *Coal Research Establishment* na Inglaterra, em 1989. As dimensões do forno piloto são: 455 mm de largura x 930 mm de comprimento x 830 mm de altura, com volume útil de 0,350 m³ e capacidade de carga de 250 kg (base seca) a uma densidade de carga de 750 kg/m³. A Figura 2.1 apresenta uma visualização do forno piloto da Gerdau Ouro Branco.



Figura 2.1 Visualização do forno piloto da Gerdau Ouro Branco.

2.1 Análises Químicas

A Figura 2.2 apresenta os resultados obtidos na análise de cinzas e a Figura 2.3 os resultados da análise de enxofre no coque produzido com a adição de biomassa, tanto para a madeira quanto para a serragem.

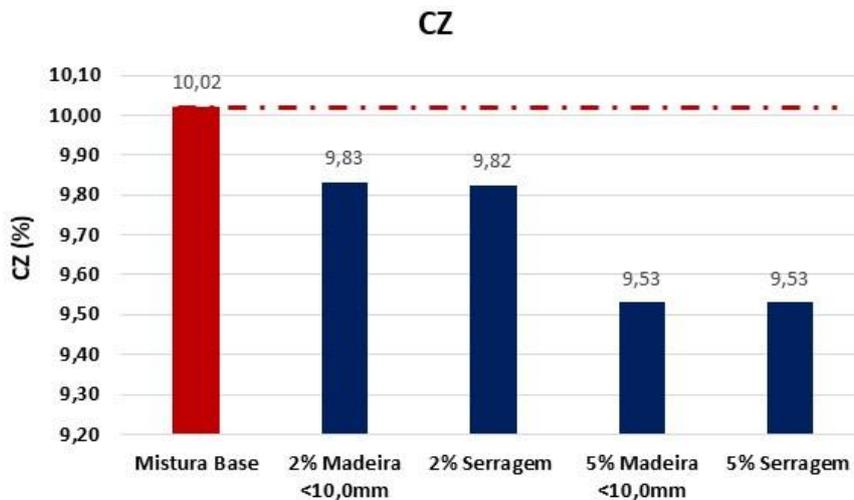


Figura2.2 Resultados das análises de cinzas.

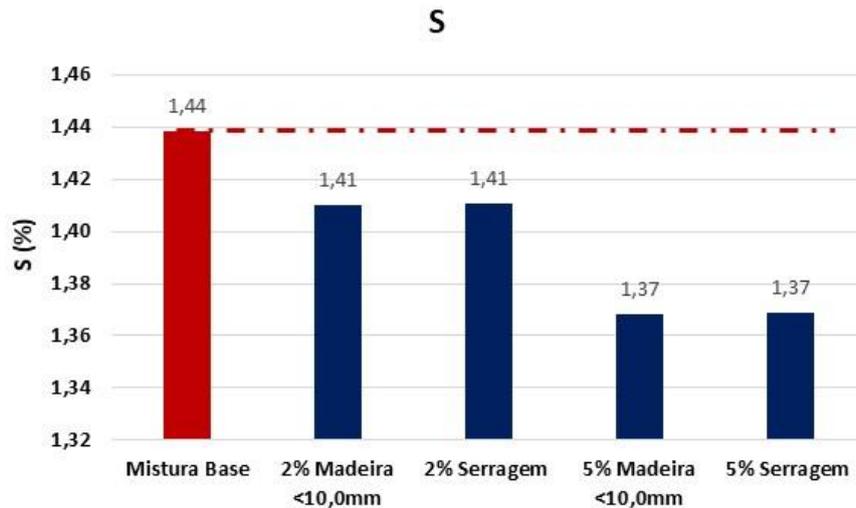


Figura 2.3 Resultados das análises de enxofre.

De acordo com as Figuras 2.2 e 2.3 observa-se a redução dos teores de cinza e enxofre com o aumento da participação da biomassa, devido ao seu baixo conteúdo de cinza e enxofre. De modo geral, para 1% de adição de biomassa é gerada uma queda de 0,01 pp no teor de cinzas e 0,02 pp no teor de enxofre do coque. Segundo Montiniano *et al.* (2014), baixos valores de enxofre e cinzas contribuem positivamente para a mistura base a ser coqueificada, culminando na baixa variação de cinza e enxofre obtida.

2.2 DI, CSR E CRI

A Figura 2.4 apresenta o resultado do ensaio de *Drum Index*.

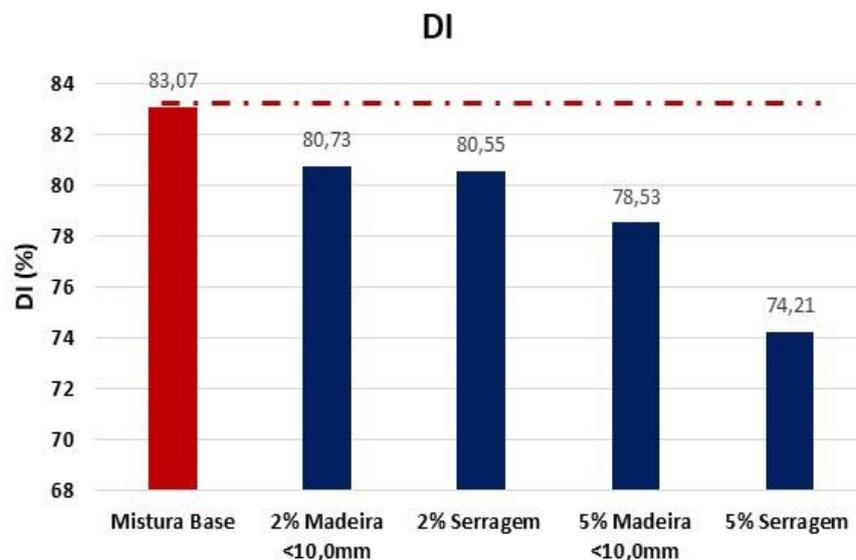


Figura 2.4 Resultado do ensaio de *Drum Index*.

Como constatado por Montiniano *et al.* (2014) a adição de serragem acarreta no aumento da porosidade do coque metalúrgico, e pode influenciar na resistência mecânica, o que pode ser reforçado pelas conclusões de Quan *et al.* (2016), onde o aumento das partículas

inertes durante o estado plástico diminui a participação dos componentes necessários para atingir um estado de aglomeração. Esse comportamento pode ser claramente observado no gráfico da Figura 2.4, onde os valores de DI decaem com o aumento da participação tanto da madeira quanto da serragem. Não foram encontradas diferenças significativas entre os níveis com 2% de madeira e 2% de serragem, que apresentam a redução média de 2,43 pp em relação a mistura base de referência. Para os níveis de 5% uma queda expressiva nos valores é notada, chegando ao valor de 8,86 pp para 5% de serragem e 4,54 pp para 5% de madeira.

Os resultados dos ensaios de CSR são apresentados na Figura 2.5 enquanto a Figura 2.6 fornece os resultados dos ensaios de CRI.

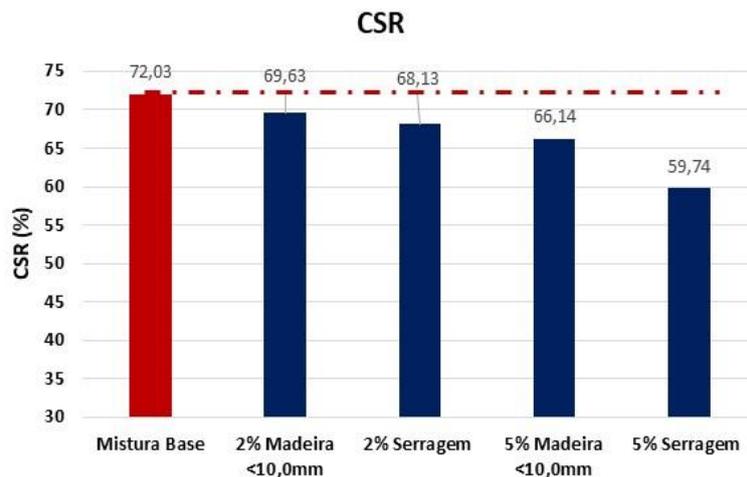


Figura 2.5 Resultados dos ensaios de CSR para cada nível de enfiamento.

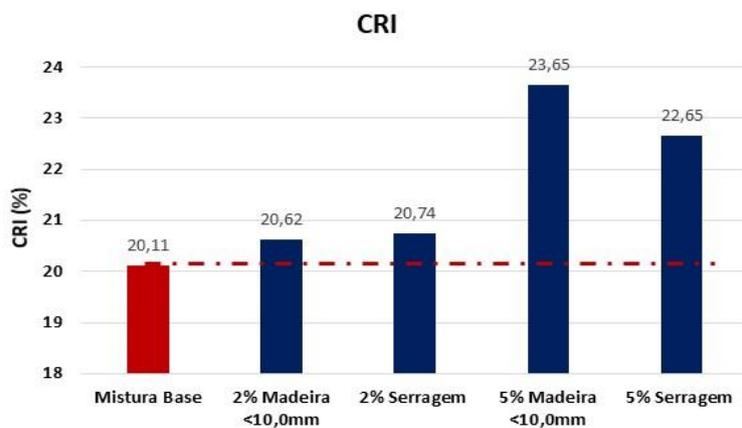


Figura 2.6 Resultados dos ensaios CRI para cada nível de enfiamento.

Foram constatadas relação inversa e direta entre participação de serragem e madeira no CSR e CRI, respectivamente. A adição de 2% de serragem gerou uma queda de 3,9 pp no CSR e aumento de 0,63 pp na reatividade, contra a expressiva queda de 12,29 pp no CSR e aumento de 2,54 pp na reatividade para adição de 5%. Quando comparado com a serragem 2%, a madeira 2% apresentou uma menor queda nos valores de CSR (1,5 pp) e menor aumento nos valores de CRI (0,12 pp). Já a madeira 5% mostrou um valor ainda maior de CSR (66,14 pp) em relação ao nível de serragem 5% (59,74 pp), com um aumento de CRI para o valor de 23,65 pp contra 22,65 pp da serragem.

Assim como no caso do DI, os resultados também podem ser interpretados com base no volume de poros presentes no coque, que acabam facilitando a difusão de CO₂ em sua estrutura, assim como exposto por Montinano *et al.* (2014), Quin *et al.* (2014) e Quan *et al.* (2016). Tendo em vista que tanto a serragem como a madeira apresentam maior perda de voláteis durante a fase de amolecimento do que o carvão mineral, onde a serragem apresenta uma maior homogeneidade de distribuição na matriz do coque, com distribuição granulométrica expressivamente menor do que a madeira. Isto gera uma distribuição de biomassa ao longo da estrutura também diferente, com distintos comportamentos do sólido durante a contração, fornecendo divergente quantidade de trincas e poros.

2.3 Distribuição Granulométrica e Rendimentos

Na Figura 2.7 tem-se o rendimento dos enforamentos para todos os níveis de ensaios.

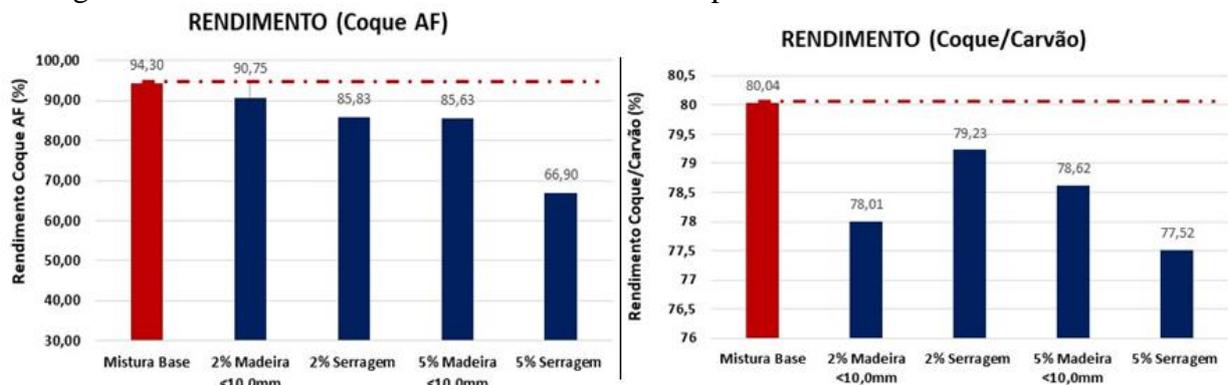


Figura 2.7 Resultados dos rendimentos de coque Alto-Forno e Coque/carvão.

O rendimento dos enforamentos para todos os níveis de ensaios são expostos nos gráficos acima, de onde se conclui que há relação indireta entre a participação da biomassa na mistura e o rendimento de coque para o alto-forno, ou seja, a massa de coque acima da granulometria de coque *breeze* dividida pela massa total de coque desenforado, sendo o resultado mais satisfatório obtido com a participação de 2% de madeira, apresentando uma queda de apenas 3,55 pp e o pior dos cenários com 5% de serragem, apresentando uma queda de 27,4 pp. Já no que diz respeito ao rendimento de coque/carvão, a madeira e a serragem apresentaram um comportamento inverso, onde a participação de 5% (1,42 pp) de madeira gerou uma queda menor no rendimento do que a participação de 2% (2,03 pp), e a serragem apresentou uma queda menor para a participação de 2% (0,81 pp) do que para 5% (2,52 pp).

A Figura 2.8 mostra os resultados da fração de coque metalúrgico e *breeze* produzido.

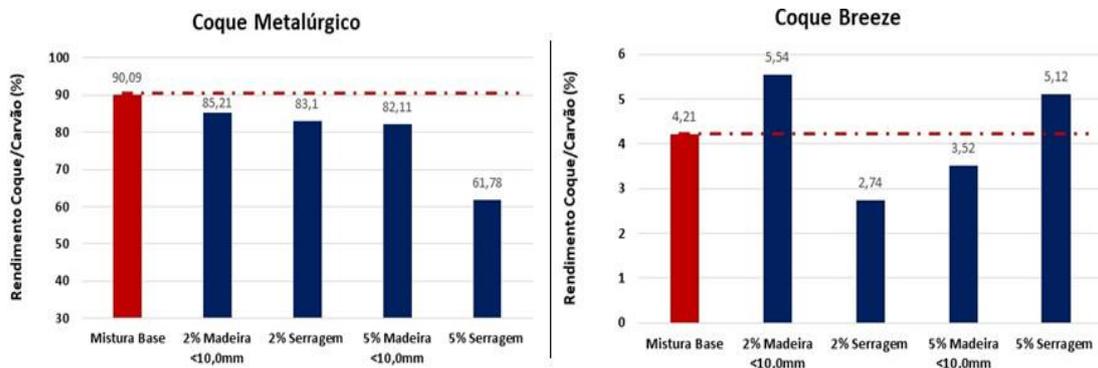


Figura 3: Resultados da fração de coque metalúrgico e *breeze* produzido.

A mudança no rendimento também pode ser evidenciada pela mudança da produção de coque metalúrgico e de coque *breeze*, onde o aumento da participação da biomassa gerou a redução da fração de coque metalúrgico devido ao aumento do material volátil presente na mistura que foi coqueificada, conforme constatado por Quan *et al.* (2016) e Montiniano *et al.* (2014) em contrapartida das relações inversa e direta entre a geração de coque *breeze* e participação da serragem e participação da madeira, respectivamente.

A Tabela 1 apresenta uma análise da produção de coque metalúrgico com a economia do uso de 2% de carvão mineral.

Tabela 1: Análise da fabricação de coque metalúrgico com adição de biomassa.

Coque Metalúrgico 2017(t)	Economia de Coque Metalúrgico -2% (t)	Fator de Emissão (tCO ₂ /unit)*	Emissão evitada (tCO ₂)
2.076.180	41.523,6	3,059	127.020,69

Fator WSA*

De acordo com a análise realizada acima, observa-se uma redução significativa na emissão de CO₂ e um lucro considerável na economia de carvão mineral utilizado no processo. Devido à utilização de 2% de serragem em substituição ao carvão mineral, o que é viável devido aos ganhos obtidos nesse processo.

2.4 O Efeito dos Parâmetros DI, CRI e CSR no *Coke-Rate*

A diminuição do DI acarreta a redução da granulometria ao longo do manuseio do coque e causa maior fragilidade para a sustentação da coluna de carga no interior do alto-forno, com um aumento considerável no *coke-rate*. O que pode causar engaiolamento e arriamentos de carga.

Com a diminuição do CSR ocorre um decréscimo da granulometria do coque no decorrer do seu manuseio, isto fragiliza a sustentação da coluna de carga dentro do alto-forno e observa-se um aumento no *coke-rate*. Isto pode causar: engaiolamento, arriamentos de carga e retorno de escória nas ventaneiras pela baixa permeabilidade do coque no cadinho.

O aumento do CRI acelera a redução de granulometria do coque em contato com o CO₂ exercendo um efeito negativo na permeabilidade de carga na zona granular e no cadinho, apresentando um aumento no *coke-rate*. O que pode causar: engaiolamento, arriamentos de carga e retorno de escória nas ventaneiras durante o processo de corte de engaiolamento devido à baixa permeabilidade de coque no cadinho (BRAGA, 2017).

3 CONCLUSÃO

A utilização de biomassa de madeira de eucalipto como matéria-prima alternativa para a produção do coque metalúrgico mostrou-se viável somente na sua composição em faixas de até 2%.

O CSR atingiu valores de 69,63% e 68,13% para madeira e serragem, respectivamente, com um pequeno aumento na reatividade quando comparado com o coque de referência, com valores de 20,62% para madeira 20,74% para serragem, sendo todos os valores satisfatórios do ponto de vista industrial. Os valores de DI também apresentaram maiores quedas para as participações de 5%, confirmando suas inviabilidades.

O rendimento de coque/carvão não apresentou grandes variações entre as diferentes participações e biomassas, enquanto o rendimento de coque AF apresentou melhores resultados para a participação de madeira em 2% (90,5%)

Houve um aumento de 3,55% de produção de coque breeze em relação à mistura base de referência.

Mostrou-se mais viável, em âmbito geral, a participação de 2% de madeira granulada do que na forma de serragem.

Agradecimentos

Os autores são gratos a GERDAU e a UFOP.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- 1 BRAGA, E.M.H. Efeitos do catalisador THERMACT™ na síntese do coque metalúrgico. 2017. 139 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia de Materiais) – REDEMAT. Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2017.
- 2 MONTINIANO, M.G.; DÍAZ-FAES, E.; BARRIOCANAL, C.; ALVAREZ, R. Influence of Biomass on metallurgical coke quality. Fuel, Oviedo, v. 116, p. 175-182, 2014.
- 3 MONTINIANO, M.G.; DÍAZ-FAES, E.; BARRIOCANAL, C.; ALVAREZ, R. Effect of the addition of wastesawdust on thermoplastic properties of a coal. Fuel, Oviedo, v. 106, p. 537-543, 2013.
- 4 OSÓRIO, E. et al. **Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico. NT Carvão e Coque.** Centro de Gestão e Estudos Estratégicos CGEE. ABM, Brasília. 2008, 24p.
- 5 QUAN, C.; GAO, N. Copyrolysis of Biomass and Coal: A Review of Effects of Copyrolysis Parameters, Product Properties, and Synergistic Mechanisms. BioMed Research International, v. 2016, p. 1-11, 2016.
- 6 QIN, L.; HAN, J., YE, W.; ZHANG, S.; YAN, Q.; YU, F. Characteristics of Coal and Pine Sawdust Co-carbonization. Energy Fuels, v. 28, p. 848-857, 2014.
- 7 SILVA, G.L.R. **Utilização de moinha de biorredutor e pneu inservível na produção de coque metalúrgico.** 2016. 188f. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Materiais) – REDEMAT. Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2016.
- 8 SILVA, O.J. **Caracterização tecnológica de carvões para coqueria.** 2008. 74 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia de Materiais) – REDEMAT. Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2008.
- 9 SOUZA, R.D.S. Caracterização de coque metalúrgico produzido com adição de pneu inservíveis nas misturas de carvão mineral. 2016. 99f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia de Materiais) – REDEMAT. Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2016.